MAQUINAS AUTODIDACTAS

LA CONEXION HUMANA



Si bien se reconoce que la emulación artificial de la inteligencia humana sigue siendo una meta por ahora inalcanzable, los investigadores no cejan en su ambición de construir sistemas y software que reaccionen de manera inteligente en entornos nuevos y que aprendan por sí solos en base a ejemplos o instrucciones, más que por medio de programación. A la historia y al estado actual de las investigaciones en máquinas autodidactas se refiere este artículo de los especialistas en el tema, Ronald L. Rivest y Wernner Remmele, que publicara la revista *Siemens* y cuyo extracto reproduce **Futuro.**

INSTINTO

Todos admitirán que para el bienestar de cada especie en sus condiciones actuales de vida, son los instintos tan importantes como las estructuras corpóreas. En condiciones de vida diferentes es posible que sean ventajosas para alguna especie ligeras modificaciones de instintos. Y si pudiera demostrarse que éstos cambian, por poco que fuera, no veríamos dificultad en admitir que la selección natural conserva y acumula las variaciones de instintos en cualquier medida que fuera ventajosa, creyendo firmemente que así se han originado todos los instintos más complejos y asombrosos que conocemos.

...Creemos que los efectos del hábito son de importancia secundaria con respecto a los efectos de la selección natural en lo que podríamos llamar variaciones espontáneas de instintos, esto es, variaciones producidas por las mismas causas ocultas que provocan las pequeñas desviaciones en la estructura del cuerpo.

Origen de las Especies, Tomo II, Carlos R. Darwin.



Por Ronald L. Rivest, Werner Remmele

Es mucho más sencillo reconocer el comportamiento inteligente que intentar definir el término "inteligencia". El comportamiento inteligente se caracteriza por una multitud de factores. Entre estos se cuentan habilidades que pueden ser adquiridas, así como otras que no pueden adquirirse por medio de entrenamiento y que se consideran como parte integra de las capacidades de una persona.

Entre estos atributos se incluyen las actitudes mentales, el aprendizaje (la capacidad de adquirir nuevos conocimientos), la solución de problemas, el entendimiento (incluso el que se basa en información ambigua o contradictoria), la capacidad de planear y predecir las consecuencias de las actividades previstas, el conocer los límites del conocimiento propio, la capacidad de generalizar, la capacidad de percibir y modelar el mundo externo y la capacidad de entender y utilizar el lenguaje y las herramientas simbólicas relacionadas con el mismo.

Aun teniendo en cuenta estos atributos como indicadores del comportamiento inteligencia y las posibles aplicaciones y las limitaciones actuales de los computadores, la emulación artificial de la inteligencia y las posibles aplicaciones y las limitaciones actuales de los computadores, la emulación artificial de la inteligencia humana sigue siendo algo muy lejano para nosotros.

¿Qué es lo que hace un computador? ¿Se trata de una máquina bastante primitiva (comparada con las facultades humanas) que se limita a repetir instrucciones impartidas por seres humanos? ¿O actúa inteligentemente, como lo indica el término "inteligencia artificial (IA)"? En efecto, los computadores se han hecho más rápidos y más complejos. En comparación con las primeras máquinas utilizadas para cálculos numéricos, los computadores de hoy realizan cálculos complejos en períodos extremadamente breves, procesan enormes cantidades de datos y, con la ayuda de sistemas expertos, son capaces de imitar el comportamiento inteligente y, por lo tanto, pueden dar consejos aparentemente "inteligentes".

Pero aún quedan problemas por resolver cuando se trata de realizar tareas que los niños, e incluso los animales, llevan a cabo sin dificultad alguna. Por ejemplo, es difícil programar un computador para que reconozca patrones, imágenes o sonidos. Y ningún computador convencional programado es capaz de adaptarse a entornos imprevistos, aun cuando deba darse a éstos un tratamiento análogo al de experiencias anteriores. Ello se debe al hecho de que los seres humanos no procesan datos como los computadores.

El cerebro humano tiene 10.000 millones de neuronas, cada una de ellas conectada hasta a otras 10.000 (con lo que se obtiene más de un billón de interconexiones). Las neuronas procesan datos en forma simultánea, pero lenta. Los tiempos de procesamiento son el orden en los milisegundos, pero en ellos pueden intervenir más de 1 millón de mensajes de entrada por segundo. Así, el enorme poder de computación del cerebro humano se logra sobre todo como resultado de un alto grado de paralelismo de los elementos encargados del cómputo y sus interconexiones, más que a través de la "potencia bruta de cálculo" de un supercomputador que alcanza su velocidad con una sola unidad de procesamiento, pero procesando la información a una velocidad de aproximadamente 10^{-9} segundos. La "arquitectura" del cerebro humano es particularmente adecuada para actividades de adaptación, razonamiento y procesamiento de imágenes y del lenguaje, mientras que la arquitectura convencional de los computadores del tipo Von Neumann está diseñada para realizar a alta velocidad actividades repetitivas y para el procesamiento de símbolos.

El objetivo de las máquinas autodidactas es construir sistemas y software que superen los cuellos de botella que imponen los computadores convencionales, que reaccionen de manera inteligente en entornos nuevos y que aprendan por sí solas en base a ejemplos o instrucciones, más que por medio de programación.

El impacto autodidacta

Existen muchas aplicaciones que no pueden programarse con técnicas convencionales. Las de mayor interés son las que implican programas de IA. Estos programas (denominados también "sistemas basados en el conocimiento" o "sistemas expertos") pueden ayudar al usuario encontrando soluciones que no parecen claras a primera vista. Almacenan el conocimiento de expertos de forma que permiten que tal información sea procesada por un computador. Por ejemplo, si una lámpara no se enciende al estar conectada la electricidad, la lámpara está defectuosa.



LA CONEXION HUMANA

Estas reglas deben obtenerse de los expertos en un proceso denominado "adquisición de conocimientos".

A primera vista, la adquisición de conocimientos puede parecer sencilla, pero tomando en cuenta la gran complejidad de las aplicaciones (por ejemplo, en diagnósticos médicos o técnicos, en geología), resulta evidente que el conocimiento del que se derivan dichas reglas no es tan simple como en el ejemplo anterior, que está asociado a vaguedades o incluso presenta contradicciones, que es incompleto, que no cubre el tema en forma explícita (la forma en que debe almacenarse finalmente) y que está sujeto a modificaciones mientras el sistema se está utilizando.

En el proceso de adquisición de conocimientos requerido para construir un sistema experto participan por lo menos dos expertos: el ingeniero de conocimientos (responsable de adquirir el conocimiento y codificarlo) y el experto en el tema en cuestión. Este proceso no sólo constituye un punto crucial en el desarrollo de sistemas expertos, sino que es la base de la calidad y de la utilidad del producto resultante. Por lo tanto, la meta final de la construcción de sistemas expertos es desarrollar sistemas capaces de adquirir automáticamente los conocimientos que necesitan para procesar información.

Existen, desde luego, varios niveles de automatización que pueden tomarse en consideración a niveles de capacidad de aprendizaje diferentes. Los sistemas en que se incorporan estos componentes de aprendizaje aún no son nada inteligentes, puesto que operan sólo con una cantidad determinada de conocimientos en un área de aplicaciones bien definida y sólo adquieren nuevos conocimientos e información con la ayuda del usuario.

Para entender el término "aprendizaje" podemos utilizar la siguiente definición: *El aprendizaje puede definirse como cualquier cambio deliberado o dirigido de la estructura de conocimientos de un sistema, que le permite un mejor rendimiento al repetir posteriormente una determinada tarea.*

A pesar de que hay otras definiciones posibles, ésta capta muchos aspectos del aprendizaje humano. Pero ¿cómo puede actuar en forma similar un sistema artificial? El objetivo de los primeros investigadores de IA era desarrollar máquinas con esta capacidad.

Historia de las máquinas

Desde la invención del computador, el sueño de construir máquinas sensibles y adaptables a sus entornos ha inducido a los especialistas a investigar en el campo del aprendizaje de máquinas. En su ensayo clásico donde analiza la cuestión de si los computadores pueden pensar, A. M. Turning dedicó un capítulo entero al argumento de que el mejor camino hacia la construcción de máquinas inteligentes era construir "máquinas autodidactas".

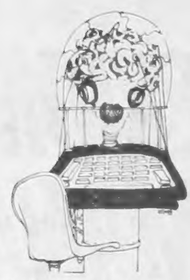
En 1958, John McCarthy, pionero en el campo de la Inteligencia Artificial (término inventado en 1956 durante una conferencia en el Darthmouth College, EE.UU.), se expresó con gran claridad sobre las ambiciones de esta disciplina recién creada: "Nuestra meta final es crear programas que aprendan de su experiencia con la misma eficacia que los seres humanos".

En una publicación clásica de la época inicial, Arthur Samuel analizó la forma en que una máquina podría aprender a jugar a las damas. El programa de Samuel llegó a ser muy buen jugador de damas gracias a un proceso de aprendizaje relacionado con el ajuste de pesos. En este caso, el valor de una jugada se representa con pesos que se fortalecen o debilitan según la experiencia obtenida en juegos anteriores.

Casi al mismo tiempo, comenzó a formarse el campo del "reconocimiento de patrones", que se derivó de la IA. El ensayo de F. Rosenblatt sobre el "perceptrón" fue una obra clave en este campo, dado que originalmente se utilizó para superar problemas relativos al reconocimiento de caracteres y a los computadores convencionales de tipo Von Neumann. Además, también constituyó un paso importante en el campo de las "redes neurales" ya que el perceptrón fue presenta-







LA CONEXION HUMANA

Por Ronald L. Rivest, Werner Remmele

Es mucho más sencillo reconocer el comportamiento inteligente que intentar definir el término "inteligencia". El comportamiento inteligente se caracteriza por una multitud de factores. Entre éstos se cuentan habilidades que pueden ser adquiridas, así como otras que no pueden adquirirse por medio de entrenamiento y que se consideran como parte integra de las capacidades de una persona.

Entre estos atributos se incluyen las actitudes mentales, el aprendizaje (la capacidad de adquirir nuevos conocimientos), la solución de problemas, el entendimiento (incluso el que se basa en información ambigua o contradictoria), la capacidad de planear y predecir las consecuencias de las actividades previstas, el conocer los límites del conocimiento propio, la capacidad de generalizar, la capacidad de percibir y modelar el mundo externo y la capacidad de entender y utilizar el lenguaje y las herramientas simbólicas relacionadas con el mismo.

Aun teniendo en cuenta estos atributos como indicadores del comportamiento inteligencia y las posibles aplicaciones y las limitaciones actuales de los computadores, la emulación artificial de la inteligencia y las posibles aplicaciones y las limitaciones actuales de los computadores, la emulación artificial de la inteligencia humana sigue siendo algo muy lejano para nosotros.

¿Qué es lo que hace un computador? ¿Se trata de una máquina bastante primitiva (comparada con las facultades humanas) que se limita a repetir instrucciones impartidas por seres humanos? ¿O actúa inteligentemente, como lo indica el término "inteligencia artificial (IA)"? En efecto, los computadores se han hecho más rápidos y más complejos. En comparación con las primeras máquinas utilizadas para cálculos numéricos, los computadores de hoy realizan cálculos complejos en periodos extremadamente breves, procesan enormes cantidades de datos y, con la ayuda de sistemas expertos, son capaces de imitar el comportamiento inteligente y, por lo tanto, pueden dar consejos aparentemente "inteligentes".

Pero aún quedan problemas por resolver cuando se trata de realizar tareas que los niños, e incluso los animales, llevan a cabo sin dificultad alguna. Por ejemplo, es difícil programar un computador para que reconozca patrones, imágenes o sonidos. Y ningún computador convencional programado es capaz de adaptarse a entornos imprevistos, aun cuando deba darse a éstos un tratamiento análogo al de experiencias anteriores. Ello se debe al hecho de que los seres humanos no procesan datos como los computadores.

El cerebro humano tiene 10.000 millones de neuronas, cada una de ellas conectada hasta a otras 10.000 (con lo que se obtiene más de un billón de interconexiones). Las neuronas procesan datos en forma simultánea, pero lenta. Los tiempos de procesamiento son el orden en los milisegundos, pero en ellos pueden intervenir más de 1 millón de mensajes de entrada por segundo. Así, el enorme poder de computación del cerebro humano se logra sobre todo como resultado de un alto grado de paralelismo de los elementos encargados del cómputo y sus interconexiones, más que a través de la "potencia bruta de cálculo" de un supercomputador que alcanza su velocidad con una sola unidad de procesamiento, pero procesando la información a una velocidad de aproximadamente 10^{-9} segundos. La "arquitectura" del cerebro humano es particularmente adecuada para actividades de adaptación, razonamiento y procesamiento de imágenes y del lenguaje, mientras que la arquitectura convencional de los computadores del tipo Von Neumann está diseñada para realizar a alta velocidad actividades repetitivas y para el procesamiento de símbolos.

El objetivo de las máquinas autodidactas es construir sistemas y software que superen los cuellos de botella que imponen los computadores convencionales, que reaccionen de manera inteligente en entornos nuevos y que aprendan por sí solas en base a ejemplos o instrucciones, más que por medio de programación.

El impacto autodidacta

Existen muchas aplicaciones que no pueden programarse con técnicas convencionales. Las de mayor interés son las que implican programas de IA. Estos programas (denominados también "sistemas basados en el conocimiento" o "sistemas expertos") pueden ayudar al usuario encontrando soluciones que no parecen claras a primera vista. Almacenan el conocimiento de expertos de forma que permiten que tal información sea procesada por un computador. Por ejemplo, si una lámpara no se enciende al estar conectada la electricidad, la lámpara está defectuosa.

Estas reglas deben obtenerse de los expertos en un proceso denominado "adquisición de conocimientos".

A primera vista, la adquisición de conocimientos puede parecer sencilla, pero tomando en cuenta la gran complejidad de las aplicaciones (por ejemplo, en diagnósticos médicos o técnicos, en geología), resulta evidente que el conocimiento del que se derivan dichas reglas no es tan simple como en el ejemplo anterior, que está asociado a vaguedades o incluso presenta contradicciones, que es incompleto, que no cubre el tema en forma explícita (la forma en que debe almacenarse finalmente) y que está sujeto a modificaciones mientras el sistema se está utilizando.

En el proceso de adquisición de conocimientos requerido para construir un sistema experto participan por lo menos dos expertos: el ingeniero de conocimientos (responsable de adquirir el conocimiento y codificarlo) y el experto en el tema en cuestión. Este proceso no sólo constituye un punto crucial en el desarrollo de sistemas expertos, sino que es la base de la calidad y de la utilidad del producto resultante. Por lo tanto, la meta final de la construcción de sistemas expertos es desarrollar sistemas capaces de adquirir automáticamente los conocimientos que necesitan para procesar información.

Existen, desde luego, varios niveles de automatización que pueden tomarse en consideración a niveles de capacidad de aprendizaje diferentes. Los sistemas en que se incorporan estos componentes de aprendizaje aún no son nada inteligentes, puesto que operan sólo con una cantidad determinada de conocimientos en un área de aplicaciones bien definida y sólo adquieren nuevos conocimientos e información con la ayuda del usuario.

Para entender el término "aprendizaje" podemos utilizar la siguiente definición: *El aprendizaje puede definirse como cualquier cambio deliberado o dirigido de la estructura de conocimientos de un sistema, que le permite un mejor rendimiento al repetir posteriormente una determinada tarea.*

A pesar de que hay otras definiciones posibles, ésta capta muchos aspectos del aprendizaje humano. Pero ¿cómo puede actuar en forma similar un sistema artificial? El objetivo de los primeros investigadores de IA era desarrollar máquinas con esta capacidad.

Historia de las máquinas

Desde la invención del computador, el sueño de construir máquinas sensibles y adaptables a sus entornos ha inducido a los especialistas a investigar en el campo del aprendizaje de máquinas. En su ensayo clásico donde analiza la cuestión de si los computadores pueden pensar, A. M. Turning dedicó un capítulo entero al argumento de que el mejor camino hacia la construcción de máquinas inteligentes era construir "máquinas autodidactas".

En 1958, John McCarthy, pionero en el campo de la Inteligencia Artificial (término inventado en 1956 durante una conferencia en el Darthmouth College, EE.UU.), se expresó con gran claridad sobre las ambiciones de esta disciplina recién creada: "Nuestra meta final es crear programas que aprendan de su experiencia con la misma eficacia que los seres humanos".

En una publicación clásica de la época inicial, Arthur Samuel analizó la forma en que una máquina podría aprender a jugar a las damas. El programa de Samuel llegó a ser muy buen jugador de damas gracias a un proceso de aprendizaje relacionado con el ajuste de pesos. En este caso, el valor de una jugada se representa con pesos que se fortalecen o debilitan según la experiencia obtenida en juegos anteriores.

Casi al mismo tiempo, comenzó a formarse el campo del "reconocimiento de patrones", que se derivó de la IA. El ensayo de F. Rosenblatt sobre el "perceptrón" fue una obra clave en este campo, dado que originalmente se utilizó para superar problemas relativos al reconocimiento de caracteres y a los computadores convencionales de tipo Von Neumann. Además, también constituyó un paso importante en el campo de las "redes neurales" ya que el perceptrón fue presentado como un modelo simplificado de las neuronas. Esto, desde luego, representó un enfoque de "máquinas que piensan" distinto al enfoque tradicional de la IA, y tuvo un gran eco en los años siguientes.



Este trabajo de primera época inspiró numerosas investigaciones y provocó expectativas de obtener resultados sustanciales e inmediatos. Lamentablemente, las arquitecturas de los primeros computadores similares a las neuronas tenían capacidades demasiado limitadas, en parte debido a cuestiones de tecnología. Por ello, el libro de Minsky y Papert intitulado *Perceptrones* pronto eliminó gran parte del entusiasmo reinante, demostrando que no había garantía de que los perceptrones aprendieran rápidamente, y, además, que era sumamente difícil, y en muchos casos incluso imposible, representar predicados interesantes (tales como objetos "conectados") en el formalismo del perceptrón.

Durante los años siguientes, el campo del reconocimiento de patrones creció en forma rápida y casi totalmente independiente de los trabajos sobre la IA. La investigación en el reconocimiento de patrones se ha caracterizado por un estilo altamente matemático que subraya claramente la estadística y la teoría de la decisión de Bayes. Hoy en día, puede decirse que en este campo se han logrado éxitos notables en numerosas aplicaciones, tales como el reconocimiento de caracteres.

Mientras tanto, el trabajo en la corriente principal de la IA continuó, pero sólo en los comienzos de la década de los 80 nuevos modelos de redes neurales y algoritmos de aprendizaje tuvieron como resultado el renacimiento del enfoque de las máquinas autodidactas basadas en redes neurales.

Los estudios sobre aprendizaje realizados por especialistas en IA han ido disminuyendo dado que el núcleo de las investigaciones sobre IA ha sido ocupado por temas de representación del conocimiento, búsqueda y planificación, temas claves para el razonamiento simbólico.

Sin embargo, los especialistas en IA han logrado avances sustanciales sobre temas relativos al aprendizaje por parte de las máquinas. Por ejemplo, Patrick Winston ha investigado sobre el hecho de que aproximaciones "casi acertadas" pueden ser de gran utilidad para llegar al concepto correcto. Winston enfrentó el problema de describir objetos en forma simbólica. Su programa es capaz de caracterizar "arcos", es decir, objetos simples presentados en forma gráfica que constan de tres elementos.

En este caso, el "concepto" de arco se determina mediante ejemplos (aprendiendo conceptos a base de ejemplos). Desde luego que el concepto construido dependerá de las muestras presentadas al sistema. En primer lugar, la descripción puede ser tan simple como la siguiente: Una estructura es un arco si consta sólo de los tres bloques b1, b2 y b3. Luego, como resultado de nuevos ejemplos, la descripción debe ser más precisa. Por ejemplo: un bloque debe ser soportado por otros dos bloques, los dos bloques que soportan al tercero deben estar de pie y no deben tocarse (lo cual es obvio para un observador humano).

El sistema debe deducir estas descripciones después de examinar casos negativos de arcos.

En un enfoque diferente se simula la capacidad humana de servirse de experiencias pasadas utilizando la solución de un problema desarrollado dado como ejemplo, para acelerar la resolución de problemas en situaciones nuevas pero estrechamente relacionadas (aprendizaje por analogía). Estos problemas ya solucionados proporcionan directrices y sugerencias útiles para la solución de problemas relacionados entre sí.

En otro sentido, la fecunda labor de Tom Mitchel relacionada con "espacios de versión" contribuyó a reducir la complejidad de la búsqueda en espacios conceptuales, haciendo al proceso más apto para su utilización en la práctica.

Hoy en día, la IA es un área en crecimiento vertiginoso. Los sistemas expertos se están aplicando a muchos problemas que antes se consideraban como "demasiado difíciles" de automatizar. Sin embargo, con frecuencia es difícil crear la base de conocimientos necesaria para un sistema experto y los ingenieros de conocimiento suelen hablar con cierta melancolía de la necesidad de poseer tecnología para el aprendizaje de las máquinas que pueda contribuir a automatizar el proceso de adquisición de conocimientos.

Los especialistas en ciencias teóricas de la computación han elaborado modelos del proceso de aprendizaje por parte de las máquinas en diversas variantes formales y han estudiado las propiedades de dichos modelos.

Uno de los grandes grupos de modelos es de carácter "recursivo-teórico" y es de estilo muy similar al de la "teoría de la recursión" clásica. En este caso, el objetivo es aprender un programa a base de ejemplos de comportamiento de entrada/salida, o aprenden un idioma a base de un listado (ordenado arbitrariamente) de frases en ese idioma. Esta investigación fue inspirada por un trabajo de Mark Gold presentado en 1967. Algunos de los temas tratados eran: efecto del orden de presentación de la información, fiabilidad de procedimientos de aprendizaje y complejidad computacional del proceso de aprendizaje.

Les Valiant introdujo un segundo modelo, a veces denominado "aprendizaje libre de distribución". Este modelo ha sido objeto de suma atención en los últimos años por parte de la comunidad de las ciencias teóricas de la computación. En este caso, Valiant introduce una noción de "aprendibilidad" (a base de ejemplos), independiente de todo supuesto *a priori* sobre la distribución de probabilidades de la que se tomarán los ejemplos. El aprendizaje libre de distribución requiere que el sujeto examine un número razonable de ejemplos (por ejemplo polinómicos del tamaño de la representación del concepto que debe aprenderse), que el algoritmo de aprendizaje dure un tiempo polinómico en los ejemplos examinados y que el sujeto produzca, con alta probabilidad, un concepto muy cercano a la respuesta acertada. A diferencia del modelo de la teoría de la recursión, este modelo es, en potencia, bastante práctico.



Se ha demostrado que una gran cantidad de conceptos de clase son aprendibles, en el sentido de Valiant, y se han estudiado y resuelto numerosos temas interesantes dentro de este marco. Por ejemplo, se ha comprobado que el aprendizaje en este sentido puede lograrse (en algunos casos) aun cuando se suministran sólo ejemplos *positivos* del concepto que debe aprenderse. Otro ejemplo: se ha demostrado que el aprendizaje puede realizarse efectivamente con este modelo, aunque los ejemplos utilizados para el entrenamiento estén alterados por ruido. Además, se han desarrollado algunas interesantes caracterizaciones matemáticas, basadas en una noción conocida como la "dimensión de Vapnik-Chervonenkis", que determinan con precisión cuándo una clase de conceptos es aprendible en el sentido de Valiant. También se están investigando otros modelos, tales como el aprendizaje por medio de experimentación.

Aplicaciones

Dentro de la corriente de investigaciones sobre máquinas autodidactas existe una clara tendencia hacia el desarrollo de técnicas que resuelvan problemas prácticos, y que no sean sólo teorías abstractas. Pese a ser demasiado temprano como para predecir con precisión qué campos de aplicación recibirán mayores beneficios de las investigaciones que se han llevado y se están llevando a cabo sobre máquinas autodidactas, las áreas siguientes parecen ser las más prometedoras:

• *El reconocimiento de la voz* ofrece un gran potencial para las aplicaciones de métodos de aprendizaje. Por ejemplo, el lograr que el reconocimiento sea independiente del que habla requiere algoritmos de adaptación rápida y eficaz. Además, se necesitan diccionarios que se amplíen constantemente para la adaptación del sistema. Con las redes neurales, se obtienen resultados prometedores en esta área, así como en

• *Reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes:* los problemas en este campo son similares a los que presenta el reconocimiento de la voz. En este caso, con un grupo bien seleccionado de ejemplos para entrenamiento podrían obtenerse mejores resultados en el reconocimiento de patrones que con otros enfoques simbólicos para la descripción de patrones, orientados hacia la IA.

• *Adquisición natural del lenguaje:* El proceso mediante el cuál los seres humanos aprenden el lenguaje está empezando a comprenderse y a simularse por medio de máquinas. En este caso, una simbiosis entre el aprendizaje orientado hacia la IA y un enfoque de red neural parece tener perspectivas halagüeñas.

• *Procedimientos:* A medida que aumentan las capacidades de las máquinas, es probable que resulte necesario entrenarlas por otros medios que el de la programación para que realicen procedimientos simples. Esta capacidad es necesaria ante todo para robots en ambientes sujetos a cambios.

• *Diagnósticos médicos:* La labor de un médico en el diagnóstico de enfermedades o grupos de enfermedades puede facilitarse en gran medida, por medio de programas "asistentes" cuyos conocimientos se han ido acumulando mediante programas de aprendizaje a partir de una base de datos de estudios clínicos. Este proceso puede utilizarse también en otras áreas de diagnóstico, tales como el diagnóstico de sistemas técnicos.

• *Pliegue de proteínas:* La difícil tarea de predecir, a base de su secuencia de aminoácidos, la forma de una proteína se está tratando de resolver por medio de algoritmos de aprendizaje aplicados a la base de datos de proteínas que presentan secuencias e informaciones de forma ya conocidas.

• *Sistemas basados en el conocimiento:* Ya han sido mencionados como una de las aplicaciones potenciales para los mecanismos de aprendizaje. Los procedimientos de aprendizaje podrían descongestionar el cuello de botella que supone la adquisición de conocimientos, dando respuestas a los problemas que surgen durante la construcción de la base de conocimientos.

La mayoría de las aplicaciones de las máquinas autodidactas que acabamos de mencionar tienen en común una base de conocimientos vaga, desconocida o extremadamente compleja. Los conocimientos que se están tratando, por lo tanto, aún no se han transferido a reglas simbólicas y consistentes. Teniendo como objetivo aplicaciones importantes para computadores, parece ser fundamental el estudio de estos temas, los cuales, cuando sean comprendidos, harán que las máquinas autodidactas sean esenciales para actividades ambiciosas, orientadas hacia el futuro.



Sábado 8 de julio de 1989



do como un modelo simplificado de las neuronas. Esto, desde luego, representó un enfoque de "máquinas que piensan" distinto al enfoque tradicional de la IA, y tuvo un gran eco en los años siguientes.

Este trabajo de primera época inspiró numerosas investigaciones y provocó expectativas de obtener resultados sustanciales e inmediatos. Lamentablemente, las arquitecturas de los primeros computadores similares a las neuronas tenían capacidades demasiado limitadas, en parte debido a cuestiones de tecnología. Por ello, el libro de Minsky y Papert intitulado *Perceptrones* pronto eliminó gran parte del entusiasmo reinante, demostrando que no había garantía de que los perceptrones aprendieran rápidamente, y, además, que era sumamente difícil, y en muchos casos incluso imposible, representar predicados interesantes (tales como objetos "conectados") en el formalismo del perceptrón.

Durante los años siguientes, el campo del reconocimiento de patrones creció en forma rápida y casi totalmente independiente de los trabajos sobre la IA. La investigación en el reconocimiento de patrones se ha caracterizado por un estilo altamente matemático que subraya claramente la estadística y la teoría de la decisión de Bayes. Hoy en día, puede decirse que en este campo se han logrado éxitos notables en numerosas aplicaciones, tales como el reconocimiento de caracteres.

Mientras tanto, el trabajo en la corriente principal de la IA continuó, pero sólo en los comienzos de la década de los 80 nuevos modelos de redes neurales y algoritmos de aprendizaje tuvieron como resultado el renacimiento del enfoque de las máquinas autodidactas basadas en redes neurales.

Los estudios sobre aprendizaje realizados por especialistas en IA han ido disminuyendo dado que el núcleo de las investigaciones sobre IA ha sido ocupado por temas de representación del conocimiento, búsqueda y planificación, temas claves para el razonamiento simbólico.

Sin embargo, los especialistas en IA han logrado avances sustanciales sobre temas relativos al aprendizaje por parte de las máquinas. Por ejemplo, Patrick Winston ha investigado sobre el hecho de que aproximaciones "casi acertadas" pueden ser de gran utilidad para llegar al concepto correcto. Winston enfrentó el problema de describir objetos en forma simbólica. Su programa es capaz de caracterizar "arcos", es decir, objetos simples presentados en forma gráfica que constan de tres elementos.

En este caso, el "concepto" de arco se determina mediante ejemplos (aprendiendo conceptos a base de ejemplos). Desde luego que el concepto construido dependerá de las muestras presentadas al sistema. En primer lugar, la descripción puede ser tan simple como la siguiente: Una estructura es un arco si consta sólo de los tres bloques b1, b2 y b3. Luego, como resultado de nuevos ejemplos, la descripción debe ser más precisa. Por ejemplo: un bloque debe ser soportado por otros dos bloques, los dos bloques que soportan al tercero deben estar de pie y no deben tocarse (lo cual es obvio para un observador humano).

El sistema debe deducir estas descripciones después de examinar casos negativos de arcos.

En un enfoque diferente se simula la capacidad humana de servirse de experiencias pasadas utilizando la solución de un problema desarrollado dado como ejemplo, para acelerar la resolución de problemas en situaciones nuevas pero estrechamente relacionadas (aprendizaje por analogía). Estos problemas ya solucionados proporcionan directrices y sugerencias útiles para la solución de problemas relacionados entre sí.

En otro sentido, la fecunda labor de Tom Mitchel relacionada con "espacios de versión" contribuyó a reducir la complejidad de la búsqueda en espacios conceptuales, haciendo al proceso más apto para su utilización en la práctica.

Hoy en día, la IA es un área en crecimiento vertiginoso. Los sistemas expertos se están aplicando a muchos problemas que antes se consideraban como "demasiado difíciles" de automatizar. Sin embargo, con frecuencia es difícil crear la base de conocimientos necesaria para un sistema experto y los ingenieros de conocimiento suelen hablar con cierta melancolía de la necesidad de poseer tecnología para el aprendizaje de las máquinas que pueda contribuir a automatizar el proceso de adquisición de conocimientos.

Los especialistas en ciencias teóricas de la computación han elaborado modelos del proceso de aprendizaje por parte de las máquinas en diversas variantes formales y han estudiado las propiedades de dichos modelos.

Uno de los grandes grupos de modelos es de carácter "recursivo-teórico" y es de estilo muy similar al de la "teoría de la recursión" clásica. En este caso, el objetivo es aprender un programa a base de ejemplos de comportamiento de entrada/salida, o aprenden un idioma a base de un listado (ordenado arbitrariamente) de frases en ese idioma. Esta investigación fue inspirada por un trabajo de Mark Gold presentado en 1967. Algunos de los temas tratados eran : efecto del orden de presentación de la información, fiabilidad de procedimientos de aprendizaje y complejidad computacional del proceso de aprendizaje.

Les Valiant introdujo un segundo modelo, a veces denominado "aprendizaje libre de distribución". Este modelo ha sido objeto de suma atención en los últimos años por parte de la comunidad de las ciencias teóricas de la computación. En este caso, Valiant introduce una noción de "aprendibilidad" (a base de ejemplos), independiente de todo supuesto *a priori* sobre la distribución de probabilidades de la que se tomarán los ejemplos. El aprendizaje libre de distribución requiere que el sujeto examine un número razonable de ejemplos (por ejemplo polinómicos del tamaño de la representación del concepto que debe aprenderse), que el algoritmo de aprendizaje dure un tiempo polinómico en los ejemplos examinados y que el sujeto produzca, con alta probabilidad, un concepto muy cercano a la respuesta acertada. A diferencia del modelo de la teoría de la recursión, este modelo es, en potencia, bastante práctico.

Se ha demostrado que una gran cantidad de conceptos de clase son aprendibles, en el sentido de Valiant, y se han estudiado y resuelto numerosos temas interesantes dentro de este marco. Por ejemplo, se ha comprobado que el aprendizaje en este sentido puede lograrse (en algunos casos) aun cuando se suministran sólo ejemplos *positivos* del concepto que debe aprenderse. Otro ejemplo: se ha demostrado que el aprendizaje puede realizarse efectivamente con este modelo, aunque los ejemplos utilizados para el entrenamiento estén alterados por ruido. Además, se han desarrollado algunas interesantes caracterizaciones matemáticas, basadas en una noción conocida como la "dimensión de Vapnik-Chervonenkis", que determinan con precisión cuándo una clase de conceptos es aprendible en el sentido de Valiant. También se están investigando otros modelos, tales como el aprendizaje por medio de experimentación.

Aplicaciones

Dentro de la corriente de investigaciones sobre máquinas autodidactas existe una clara tendencia hacia el desarrollo de técnicas que resuelvan problemas prácticos, y que no sean sólo teorías abstractas. Pese a ser demasiado temprano como para predecir con precisión qué campos de aplicación recibirán mayores beneficios de las investigaciones que se han llevado y se están llevando a cabo sobre máquinas autodidactas, las áreas siguientes parecen ser las más prometedoras:

• *El reconocimiento de la voz* ofrece un gran potencial para las aplicaciones de métodos de aprendizaje. Por ejemplo, el lograr que el reconocimiento sea independiente del que habla requiere algoritmos de adaptación rápida y eficaz. Además, se necesitan diccionarios que se amplíen constantemente para la adaptación del sistema. Con las redes neurales, se obtienen resultados prometedores en esta área, así como en

• *Reconocimiento de patrones y procesamiento de imágenes:* los problemas en este campo son similares a los que presenta el reconocimiento de la voz. En este caso, con un grupo bien seleccionado de ejemplos para entrenamiento podrían obtenerse mejores resultados en el reconocimiento de patrones que con otros enfoques simbólicos para la descripción de patrones, orientados hacia la IA.

• *Adquisición natural del lenguaje:* El proceso mediante el cuál los seres humanos aprenden el lenguaje está empezando a comprenderse y a simularse por medio de máquinas. En este caso, una simbiosis entre el aprendizaje orientado hacia la IA y un enfoque de red neural parece tener perspectivas halagüeñas.

• *Procedimientos:* A medida que aumentan las capacidades de las máquinas, es probable que resulte necesario entrenarlas por otros medios que el de la programación para que realicen procedimientos simples. Esta capacidad es necesaria ante todo para robots en ambientes sujetos a cambios.

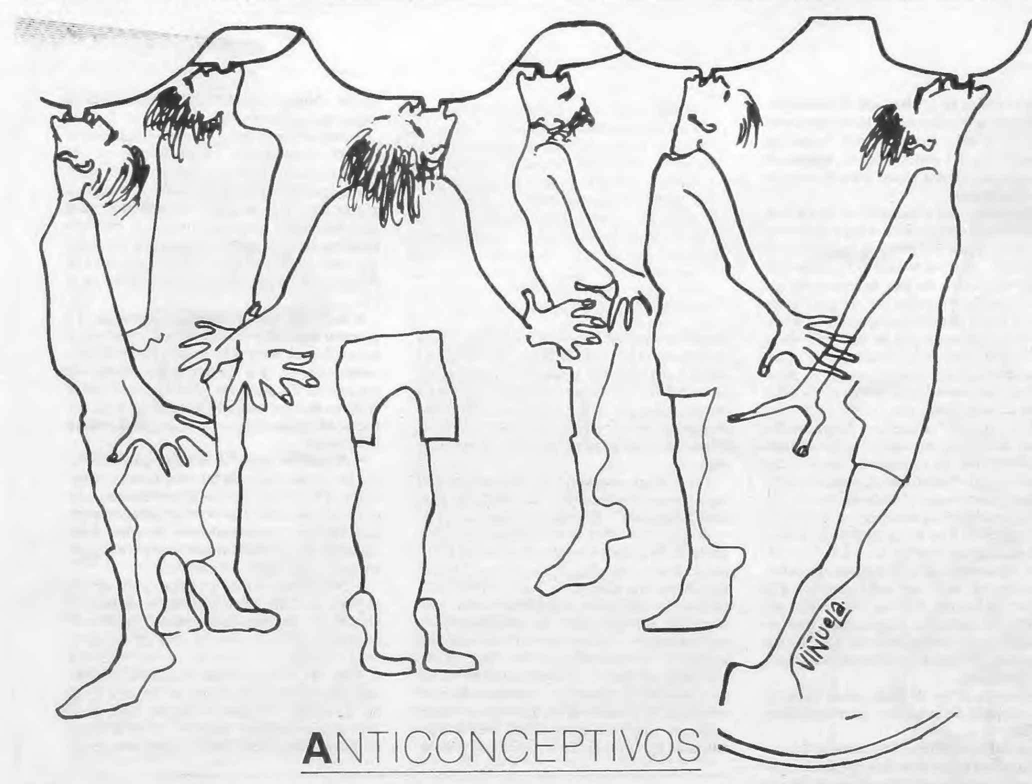
• *Diagnósticos médicos:* La labor de un médico en el diagnóstico de enfermedades o grupos de enfermedades puede facilitarse en gran medida, por medio de programas "asistentes" cuyos conocimientos se han ido acumulando mediante programas de aprendizaje a partir de una base de datos de estudios clínicos. Este proceso puede utilizarse también en otras áreas de diagnóstico, tales como el diagnóstico de sistemas técnicos.

• *Pliegue de proteínas:* La difícil tarea de predecir, a base de su secuencia de aminoácidos, la forma de una proteína se está tratando de resolver por medio de algoritmos de aprendizaje aplicados a la base de datos de proteínas que presentan secuencias e informaciones de forma ya conocidas.

• *Sistemas basados en el conocimiento:* Ya han sido mencionados como una de las aplicaciones potenciales para los mecanismos de aprendizaje. Los procedimientos de aprendizaje podrían descongestionar el cuello de botella que supone la adquisición de conocimientos, dando respuestas a los problemas que surgen durante la construcción de la base de conocimientos.

La mayoría de las aplicaciones de las máquinas autodidactas que acabamos de mencionar tienen en común una base de conocimientos vaga, desconocida o extremadamente compleja. Los conocimientos que se están tratando, por lo tanto, aún no se han transferido a reglas simbólicas y consistentes. Teniendo como objetivo aplicaciones importantes para computadores, parece ser fundamental el estudio de estos temas, los cuales, cuando sean comprendidos, harán que las máquinas autodidactas sean esenciales para actividades ambiciosas, orientadas hacia el futuro.





ANTICONCEPTIVOS

EL VIEJO TRUCO DE LA LACTANCIA

(Por Laura Dubinsky - C y T)

Moralistas, demógrafos, religiosos y planificadores de salud elevan sus voces encontradas cuando se trata de opinar sobre el control de la natalidad. Entre la prohibición China de no tener más de un hijo por pareja y las familias supernumerosas frecuentes en América latina, el deseo de la mujer que quiere o no quedar embarazada ocupa el vértice de un triángulo que entrelaza confusamente política y derechos individuales. La opinión de los científicos en base a datos de algunas investigaciones agrega una voz más a esta polifonía reproductiva que se inició cuando las mujeres comenzaron a parir.

La infertilidad que se produce naturalmente en las mujeres mientras amamantan parece ser el factor anticonceptivo que tiene más incidencia en el control de la natalidad de los países en desarrollo.

"La lactancia natural debería ser estimulada en los programas de desarrollo, y su efecto anticonceptivo puede ser aprovechado para lograr un intervalo óptimo entre nacimientos", afirman los investigadores de habla inglesa S. Thapa, M. Potts y R. Short.

Los científicos analizan en un reciente número de *Nature* los efectos de la lactancia sobre la salud y la supervivencia infantil en base a los datos de un estudio mundial sobre la fertilidad de 150.000 mujeres, realizado entre 1974 y 1984 por el Instituto de Estadísticas Internacionales en Londres.

Ningún ginecólogo recomendaría a una mujer que confíe en los efectos anticonceptivos de la lactancia. Su efectividad pende de un hilo demasiado frágil: el equilibrio entre la frecuencia de succión del bebé y la secreción consecuente de hormonas en el cuerpo materno.

Sin embargo —paradojas del subdesarrollo—, algunos especialistas creen que debería aprovecharse ese efecto anticonceptivo allí donde la carencia de recursos y la desinformación en materia sexual hacen más difícil y lejano cualquier otro método de control de la natalidad.

"La práctica de amamantar funcionó durante siglos como un anticonceptivo natural, pero hemos interferido en ese efecto sin saberlo, debido al cambio de las costumbres alimentarias de la población", se lamentan los investigadores.

El mismo Short, que estuvo trabajando en los Estados Unidos, Inglaterra y Australia sobre biología reproductiva, ya había expresado varios años atrás que "la declinación de la práctica de amamantar en la sociedad moderna es una verdadera tragedia humana".

La alimentación de los bebés con leche artificial es, según los autores, una especie de monstruo cultural con dos cabezas: una, se relaciona con las consecuencias sobre la nutrición infantil, y la otra, con el aumento de la fertilidad de las madres que abandonaron la práctica de amamantar.

Dime cuánto mamas...

La leche materna es un potente guardián de la salud infantil. Los anticuerpos —agentes que posee el organismo para combatir las infecciones— pasan de la madre al bebé que es amamantado y lo protegen de gastroenteritis y otras enfermedades contra las cuales se encuentra aún indefenso. En cambio, los sustitutos de la leche materna no tienen esa protección inmunológica y pueden crear problemas cuando no están adecuadamente esterilizados o si no fueron preparados en dosis correctas.

Pero los especialistas en reproducción y demografía ponen el acento en el olvido de los efectos anticonceptivos de la lactancia. El estudio sobre fertilidad mundial revela que ese factor incide en el aumento de la tasa de crecimiento de la población, sobre todo en los países en desarrollo.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), sólo el 17 por ciento de la población de Asia, Africa y América latina utiliza métodos anticonceptivos modernos. El resultado: embarazos poco espaciados entre sí que contribuyen al deterioro de la salud y al aumento de la mortalidad infantil allí donde los recursos sanitarios y alimenticios son precarios. El amamantar, como método de control de la fertilidad, adquiere en esos casos una importancia vital, opinan los científicos en *Nature*.

Aunque los efectos anticonceptivos que se producen en la mujer mientras amamanta ya eran conocidos en la antiguedad, el mecanismo que interrumpe el ciclo ovulatorio fue, durante siglos, un enigma.

El factor crucial es la frecuencia de succión del bebé, dicen los endocrinólogos. A partir de ahí empieza a funcionar un verdadero engranaje de relojería. Desde el cerebro, el hipotálamo acusa recibo del estímulo de succión y envía a su vez mensajes en un idioma que el cuerpo conoce: la secreción de hormonas.

Así comienza una carrera de relevos de hormonas, que son —a su turno— segregadas o inhibidas. Esos correos químicos pasarán por la glándula pituitaria y tendrán su destino final en el ovario y las glándulas mamarias.

Ambos órganos descifrarán los mensajes, inhibiendo la ovulación y manteniendo la producción y eyección de la leche. Si el estímulo de succión permanece, el ciclo se reanuda.

A medida que se introducen suplementos en la dieta del bebé, disminuye la frecuencia y duración de la succión. Esa es la señal para que se reanude la actividad cíclica del ovario y retorne, por lo tanto, la fertilidad de la mujer.

Inocente, por ahora

"Se podrían salvar medio millón de niños, entre los 2.600.000 que mueren todos los años en Asia, Africa y América latina sin llegar a cumplir doce meses de edad, si las madres espaciaran sus embarazos cada dos años", afirman Thapa, Short y Potts.

En los países en desarrollo, el intervalo entre los embarazos sucesivos es una factor de riesgo importante para la supervivencia infantil: según el estudio mundial, si el segundo nacimiento se produce sólo doce meses después del anterior, el recién nacido tendrá un 77 por ciento de probabilidades de morir.

La causa de ese "pan —negro— bajo el brazo" que ya tienen adjudicados tantos niños inclusive antes de nacer, es muy discutida. Algunos especialistas sostienen que se relaciona con el llamado "síndrome de agotamiento materno", frecuente en mujeres que no están bien alimentadas y que ese estado puede conducir al nacimiento de niños con bajo peso y pocas chances de sobrevivir.

"Kwashiorkor", una palabra africana que significa "la enfermedad del desplazado", describe otra posible consecuencia de los embarazos poco espaciados: el niño que sufre el destete abrupto por el nuevo embarazo de su madre y que se ve privado de la principal fuente de proteínas de su dieta.

"La lactancia es un ciclo natural del organismo femenino. Suprimirlo es crear patología", dice el investigador argentino Carlos Libertun, echando leña a una vigente polémica de la era tecnológica: ¿natural o artificial?

Un prejuicio occidental casi jurídico considera que la leche artificial es "inocente hasta que se determine lo contrario". Sin embargo, el gran laboratorio integrado involuntariamente por todos los habitantes del planeta está repleto de datos útiles para elaborar políticas de salud: "La alimentación artificial de los lactantes —afirma Short— ha sido el mayor experimento clínico incontrolado que se realizó en la historia de la humanidad".

Perfume de ladrón

Por Susana Mammini

Un señor con aspecto de "marchand" entra a una galería de arte con un prolijo envoltorio. El empleado lo atiende y cuando desenvuelven el paquete distingue que se trata de una de las más valiosas obras de Van Gogh. Rápidamente, llama al dueño del negocio quien se muestra muy interesado en concretar la compra de la obra de arte. "Todo está bien —dice el comprador— pero antes permítame realizar una prueba de verificación." El vendedor accede y ante su sorpresa el dueño de la galería regresa con una cajita pequeña conteniendo numerosas pulgas. Las deja en libertad sobre la tela y ellas se aglutinan velozmente en un sector de la misma. "Usted es un ladrón", acusa el comprador al señor que trajo el cuadro. "Esta pintura ha sido robada —continúa— y voy a llamar a la policía de inmediato". Resignadamente, y cuando el empleado ya ha tomado el teléfono en sus manos, el prolijo marchand del principio de la historia se deja caer en un sofá.

El párrafo anterior bien pudo ser extraído de una novela policial. Sin embargo, gracias a un reciente descubrimiento de científicos franceses, la escena formará parte de la realidad del robo de joyas u obras de arte. Claudine Masson, directora de investigación del Laboratorio de Neurobiología de Invertebrados del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia (CNRS) y Marie-Florence Thal del Comisariato de la Energía Atómica de ese país acaban de poner a punto un sistema de protección de objetos de valor que se inspira en el modo en que los animales alertan químicamente a sus congéneres —con la ayuda de ciertas sustancias llamadas *feromonas*— por ejemplo, para marcar su territorio.

El equipo de investigadores formado por ambas instituciones declaró recientemente a *Le Figaro* que "se dedican al estudio básico de los medios de comunicación química que utilizan los animales y a trabajos para luchar contra la polución ambiental. Hoy estamos seguros que los olores serán el sistema antirobo del año 2000. Ya hemos iniciado los trámites de patentamiento del sistema que se basa en la aplicación de marcadores químicos o verdaderos detectores biológicos". Por sus investigaciones, el grupo se hará acreedor al "Gran Premio 2000" de la Sociedad General de Francia.

Alarma biológica

El principio del descubrimiento francés se basa en la disposición, sobre objetos de valor, de ciertas sustancias fácilmente localizables por animales que las secretan a modo de señales de reconocimiento. Algo así como la acción de los perros-antidroga. Es cuestión de tener precisamente a los animales susceptibles de detectar ciertos y determinados olores. Para confirmar la efectividad del producto los científicos utilizaron perros, ya que estos animales poseen un sistema olfativo hiperdesarrollado que les permite identificar una sola molécula depositada en el suelo por alguno de sus congéneres, aun cuando haya pasado un cierto tiempo. La autenticidad de las pruebas ya despertó el interés de algunas firmas para fabricar el producto, motivo por el cual los hombres de ciencia se niegan a revelar el nombre de las sustancias básicas que intervienen en su preparación.

"Además del perro —aseguran Thal y Masson— muchos otros animales pueden utilizarse en el reconocimiento de objetos impregnados por estas sustancias. Un ejemplo serían las abejas, capaces de localizar una gota de agua azucarada a cientos de metros de distancia u otros animales que pueden emitir señales a sus parejas a miles de kilómetros."

En un futuro no lejano los ladrones de cuadros no podrán atravesar las fronteras de Francia. El Louvre y otros importantes museos serán los primeros sitios que se protejan con este tipo de "olores antirobo", que por su origen animal no serán desagradables. ¿Será posible también rociar con estas sustancias bancos, depósitos en dólares, mesas de dinero u otros recovecos financieros?